

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(17) N° de publication :

2 336 602

(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 75 39759

(54) Dispositif de compensation des perturbations synchrones dans une suspension magnétique d'un rotor.

(51) Classification internationale (Int. Cl.²). F 16 F 15/18; G 05 D 19/02//F 16 C 32/04;
H 02 K 3/11.

(22) Date de dépôt 24 décembre 1975, à 18 h 1 mn.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande B.O.P.I. - «Listes» n. 29 du 22-7-1977.

(71) Déposant : Société anonyme dite : SOCIÉTÉ EUROPÉENNE DE PROPULSION, résidant en France.

(72) Invention de : Helmut Habermann, Maurice Brunet et Pierre Joly.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Beau de Loménie, 55, rue d'Amsterdam, 75008 Paris.

La présente invention est relative à un dispositif de compensation des perturbations synchrones dans une suspension magnétique d'un rotor,

suspension de type actif comportant au moins un palier magnétique radial muni d'enroulements d'électro-aimants, au moins un dispositif de détection
5 radial de la position axiale du rotor, et un circuit d'asservissement relié au dispositif de détection et auxdits enroulements et comprenant un circuit de commande d'alimentation de ces enroulements agissant en réponse à des signaux délivrés par le dispositif de détection pour maintenir le rotor dans une position axiale prédéterminée.

10 Pour tout système de suspension, qu'il soit mécanique, par paliers hydrauliques, à gaz ou à roulements, ou qu'il soit magnétique, se pose le problème de l'équilibrage du rotor suspendu. Il est en effet impossible d'usiner et de monter un rotor dans des paliers de manière que son axe d'inertie coïncide exactement avec l'axe de rotation défini par les paliers,
15 non-coïncidence qui se traduit par l'existence d'un balourd résultant.

Dans le cas de suspension mécanique, l'existence du balourd engendre, lors de la rotation du rotor, des forces alternatives transmises par les paliers et qui se traduisent par des vibrations souvent indésirables du stator. Pour limiter l'amplitude de ces vibrations, on procède généralement
20 à un équilibrage poussé du rotor pour sa vitesse nominale, équilibrage qui est réalisé au moyen de masses additionnelles réparties sur le rotor de manière à faire coïncider son axe d'inertie avec l'axe de rotation défini par les paliers. Ce mode d'équilibrage demande une grande précision et est de ce fait délicat. Par ailleurs, il ne peut compenser des variations du
25 balourd dans le temps, variations dues par exemple au vieillissement ou à des déformations d'origine thermique. Enfin, cet équilibrage, lorsqu'il est effectué pour une vitesse de rotation nominale donnée, ne peut compenser d'éventuelles variations du balourd liées à la vitesse de rotation lorsque le rotor est entraîné à une vitesse autre que sa vitesse nominale.

30 Dans le cas d'une suspension magnétique, l'existence d'un balourd se traduit par une tendance du rotor à tourner autour d'un axe, son axe d'inertie, distinct de l'axe de rotation prédéterminé défini par le palier. Or, dès que l'axe de rotation effectif du rotor s'écarte de sa position prédéterminée, le dispositif de détection émet un signal d'erreur aux
35 enroulements du palier de manière à ramener l'axe de rotation dans cette position prédéterminée. Le problème de l'équilibrage du rotor se pose donc.

Or, l'équilibrage du rotor au moyen de masses additionnelles présente, dans le cas d'une suspension magnétique, les mêmes inconvénients que ceux cités précédemment.

La présente invention a donc pour objet de fournir un dispositif pour la suspension magnétique d'un rotor, permettant de réduire considérablement et même d'annuler les effets nuisibles dus à des perturbations parasites ayant notamment comme origine l'existence d'un balourd. Dans le cas d'un balourd ces perturbations se traduisent par l'émission par le système de détection de signaux d'erreur alternatifs ayant une fréquence égale à la vitesse angulaire de rotation du rotor. Mais, d'autres types de perturbations parasites synchrones avec la rotation existent, ayant par exemple comme origine des défauts de symétrie des éléments rotoriques ou statoriques d'un moteur d'entraînement du rotor. Toutes ces perturbations synchrones ont un caractère alternatif et ont une fréquence liée à la vitesse de rotation du rotor, c'est-à-dire une fréquence égale ou multiple de cette vitesse de rotation. Aussi, la présente invention a plus généralement pour but de fournir un dispositif pour la suspension magnétique d'un rotor permettant de combattre les effets dus à des perturbations synchrones ayant comme origine des défauts de symétrie, géométrique ou magnétique du rotor ou des détecteurs de position, ou des paliers, ou même d'un moteur électrique d'entraînement du rotor.

Ce but est atteint grâce à un dispositif de suspension magnétique de type actif précité, dispositif dans lequel, conformément à l'invention, 25 le circuit d'asservissement comporte des moyens de filtrage des signaux délivrés par le dispositif de détection, insérés entre ce dernier et le circuit de commande, et constituant au moins un filtre coupe-bande centré sur une fréquence fonction directe de la vitesse de rotation du rotor.

Dans le cas du balourd, on réalise un filtre coupe-bande centré 30 sur une fréquence égale à la vitesse de rotation du rotor si bien que les perturbations dues au balourd et dues au détecteur ne sont pas transmises au circuit de commande. Pour ces perturbations, la raideur du palier est donc considérablement réduite, et le rotor est donc libre de tourner autour de son axe d'inertie. Ainsi, alors qu'avec le mode d'équilibrage au moyen de masses 35 additionnelles, on s'efforce de faire coïncider l'axe d'inertie du rotor avec l'axe de rotation défini par le palier, on réalise, conformément à l'invention, un "équilibrage" du rotor en faisant coïncider son axe de rotation avec son axe d'inertie, et ceci quelles que soient les variations du balourd.

L'invention concerne notamment les dispositifs de suspension du type comportant des premiers et des seconds moyens reliés au dispositif de détection et susceptibles de délivrer respectivement un premier et un second signal, dits d'entrée, représentatifs de la position radiale du rotor respectivement suivant un premier et un second axe de référence fixes, perpendiculaires entre eux et à l'axe de rotation prédéterminé du rotor, le circuit de commande comportant une première et une seconde entrée reliées respectivement auxdits premiers et seconds moyens. Dans ce cas, selon une caractéristique très avantageuse de la présente invention, les moyens de filtrage

10 comportent un premier et un second additionneur à deux entrées ayant leurs premières entrées reliées auxdits premiers et seconds moyens pour recevoir respectivement le premier et le second signal d'entrée, et ayant leurs sorties reliées respectivement à la première et à la seconde entrée du circuit de commande et délivrant un premier et un second signal de sortie, et un circuit

15 de contre-réaction branché entre les sorties des additionneurs et leurs deuxièmes entrées ; ce circuit de contre-réaction comportant un premier circuit de transformation du type susceptible d'effectuer une transformation de coordonnées du repère fixe constitué par ledits axes fixes dans un repère mobile qui est constitué par deux axes ^{mobiles} perpendiculaires entre eux et à l'axe de rotation du rotor, et qui tourne par rapport au repère fixe à une vitesse égale à ladite fréquence

20 centrale du filtre coupe-bande, ce premier circuit de transformation ayant deux entrées reliées aux sorties desdits additionneurs pour recevoir ledit premier et ledit second signal de sortie et les transformer en un troisième et un quatrième signal, un premier intégrateur relié au premier circuit de transformation pour recevoir ledit troisième signal et l'intégrer,

25 un second intégrateur relié au premier circuit de transformation pour recevoir ledit quatrième signal et l'intégrer, un second circuit de transformation du type susceptible d'effectuer une transformation de coordonnées dudit repère mobile dans ledit repère fixe, ce second circuit de transformation ayant deux

30 entrées reliées respectivement au premier et au second intégrateur pour transformer les signaux délivrés par ces intégrateurs en un cinquième et un sixième signal, les secondes entrées du premier et du second additionneur étant reliées audit second circuit de transformation pour recevoir respectivement ledit cinquième et ledit sixième signal.

35 Ce circuit de contre-réaction permet de réaliser un filtre coupe-bande centré sur une fréquence constamment et automatiquement asservie à la vitesse de rotation du rotor. Dans le cas du balourd, on réalise alors un "équilibrage automatique" quelles que soient les variations du balourd et pour toute vitesse de rotation du rotor.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention ressortiront à la lecture de la description d'un mode particulier de sa réalisation, description faite ci-après, à titre indicatif mais non limitatif, en référence aux figures du dessin joint qui illustrent schématiquement :

- 5 - figure 1 : une vue en demi-coupe axiale d'un montage de rotor dans des paliers magnétiques radiaux ;
- figure 2 : une vue en coupe suivant la ligne II-II de la figure 1 ;
- figure 3 : une vue en coupe suivant la ligne III-III de la figure 1 ;
- 10 - figure 4 : une vue d'un circuit d'asservissement d'un dispositif conforme à l'invention ;
- figure 5 : une représentation du système tournant constitué par le rotor ;
- 15 - figure 6 : une courbe représentative de la fonction de transfert du circuit de contre-réaction représenté à la figure 4 ;
- figure 7 : une courbe représentative de la fonction de transfert globale du circuit de traitement représenté à la figure 4 ; et
- figure 8 : une courbe représentative de la raideur du palier en fonction de la fréquence des perturbations auxquelles le rotor est soumis.

On a représenté aux figures 1 à 3, un rotor 1 supporté dans un stator 2 au moyen de deux paliers magnétiques radiaux 3. Chaque palier comporte des enroulements d'électro-aimants 4 montés sur une armature fixe 5 coopérant avec une armature annulaire 6 solidaire du rotor 1.

- 25 Les électro-aimants sont disposés par paires E_x , E_x' et E_y , E_y' suivant deux axes diamétraux orthogonaux fixes, respectivement $x'x$ et $y'y$, perpendiculaires à l'axe de rotation $z'z$ prédéterminé défini par le palier, les deux électro-aimants d'une même paire étant diamétralement opposés et exerçant chacun une action attractive sur le rotor lorsque leurs enroulements
- 30 sont alimentés. Dans l'exemple illustré, chaque électro-aimant comporte deux enroulements 4 connectés en série.

- Chaque palier est associé à un dispositif de détection radial 7 comportant deux paires de détecteurs D_x D_x' et D_y D_y' disposés suivant deux axes fixes respectivement parallèles à $x'x$ et $y'y$, les deux détecteurs d'une
- 35 même paire étant diamétralement opposés. Dans l'exemple illustré, chaque détecteur est constitué par plusieurs bobinages 8 montés sur une armature fixe 9 coopérant avec une armature annulaire 10 solidaire du rotor 1. Bien entendu, d'autres types de détecteurs peuvent être utilisés, en particulier des détecteurs du type capacitif ou optique.

2336602

5

La rotor 1 peut être entraîné au moyen d'un moteur électrique (non représenté) ayant son stator solidaire du stator 2 et son rotor solidaire du rotor 1.

Il est connu d'asservir chaque palier à partir des signaux des détecteurs au moyen d'un circuit comportant des additionneurs tels que 11 et 12 (figure 4) sommant les signaux de chaque paire de détecteurs et délivrant sur leurs sorties respectives des signaux x et y représentatifs de l'écart entre les positions radiales réelle et prédéterminée de l'axe de rotation du rotor, respectivement suivant les axes $x'x$ et $y'y$.

Dans un circuit d'asservissement connu, les signaux x et y sont appliqués respectivement aux entrées 13a et 13b d'un circuit de commande 13 qui fournit en sortie les courants d'alimentation respectifs des électro-aimants Ex , Ex' , Ey et Ey' . Un tel circuit de commande comporte par exemple des réseaux d'avance de phase 14, 15 qui fournissent des signaux de commande x_c , y_c . Ces signaux de commande sont déphasés au moyen de déphaseurs 16, 17 pour élaborer des signaux x'_c , x''_c et y'_c , y''_c qui, amplifiés, au moyen d'amplificateurs Ax , Ax' , Ay , Ay' alimentent les électro-aimants Ex , Ex' , Ey et Ey' avec la polarité convenable. Plusieurs modes particuliers de réalisation de circuits de commande sont connus, par exemple du brevet français n° 2 149 644.

Conformément à l'invention, on insère, entre les sorties des additionneurs 11 et 12 et les entrées 13a et 13b du circuit de commande, un circuit de traitement 18 permettant d'éliminer la transmission au circuit de commande de perturbations parasites.

Dans le cas d'un rotor 1 présentant un balourd, l'écart ε dans un plan diamétral entre la trace O de son axe de rotation prédéterminé et la trace I de son axe d'inertie (figure 5), aussi faible qu'il soit, se traduit par l'émission, par l'intermédiaire des détecteurs, de signaux d'erreurs alternatifs parasites dont la fréquence de variation, en Hz, est égale à la vitesse de rotation du rotor exprimée en tours par seconde.

Dans l'exemple illustré, le circuit 18 réalise un filtrage de ces signaux d'erreurs parasites engendrés par le balourd associé au rotor 1.

Ce circuit de traitement 18 comporte deux additionneurs Sx et Sy à deux entrées, leurs premières entrées étant connectées respectivement aux sorties des additionneurs 11 et 12 et recevant donc respectivement les signaux x et y . Les sorties des additionneurs Sx et Sy sont connectées respectivement aux entrées 13a et 13b du circuit de commande 13, et délivrent respectivement les signaux x_s et y_s . Un circuit de contre-réaction 19 est branché entre les sorties des additionneurs Sx et Sy et leurs secondes entrées.

Le circuit de contre-réaction 19 comporte un premier circuit de transformation, ou resolver, R1 recevant sur une première et une seconde entrée respectivement les signaux x_s et y_s et délivrant sur ses deux sorties respectivement les signaux X et Y tels que :

$$\begin{cases} X = x_s \cos \omega t + y_s \sin \omega t \\ Y = -x_s \sin \omega t + y_s \cos \omega t \end{cases}$$

ω étant égal à la vitesse angulaire du rotor, et t représentant le temps.

En considérant x_s et y_s comme les coordonnées d'un point dans le repère fixe constitué par les axes $x'y'$, X et Y représentent donc les coordonnées de ce point dans un repère tournant constitué par des axes orthogonaux X'X et Y'Y (figure 5), perpendiculaires à l'axe de rotation du rotor ayant leur intersection sur ce dernier et solidaires du rotor. Le balourd engendrant des signaux d'erreurs parasites ayant une fréquence égale à la vitesse de rotation du rotor, la transformation effectuée par le resolver R1 permet de situer le balourd de manière fixe par rapport au rotor et donc de traiter ce balourd de manière à compenser l'écart ϵ .

Pour ce traitement, les signaux X et Y sont intégrés dans le repère tournant au moyen d'intégrateurs, respectivement IX et IY. Le balourd étant fixe ou très lentement variable, on pourra limiter la bande passante aux intégrateurs IX et IY aux basses et même très basses fréquences. Les signaux X_1 et Y_1 délivrés par les intégrateurs IX et IY sont appliqués à une première et à une seconde entrée d'un second circuit de transformation, ou resolver, R2 qui effectue la transformation inverse du resolver R1 et qui délivre sur ses deux sorties des signaux x_1 et y_1 lesquels sont appliqués à la seconde entrée de l'additionneur S_x et de l'additionneur S_y respectivement.

Les signaux x_1 et y_1 sont réinjectés avec une polarité opposée à celle des signaux x_s et y_s et l'on a :

$$\begin{cases} x_1 = -[X_1 \cos \omega t - Y_1 \sin \omega t] \\ y_1 = -[X_1 \sin \omega t + Y_1 \cos \omega t] \end{cases} \text{ et } \begin{cases} x_s = x + x_1 \\ y_s = y + y_1 \end{cases}$$

En fait, tout se passe donc comme si on superposait aux signaux x et y des signaux de compensation représentatifs d'un balourd fictif équilibrant le balourd réel.

Les resolvers R1 et R2 reçoivent chacun sur une troisième entrée un signal ωt délivré par un circuit convertisseur tachymétrique 20 qui élabore une grandeur proportionnelle à la vitesse de rotation réelle du rotor. Ces circuits resolvers R1 et R2 constituent des circuits de transformation de coordonnées entre un repère fixe et un repère tournant, circuits qui peuvent

avoir une constitution connue en soi. On pourra en particulier réaliser le circuit 19 sous forme de circuit numérique, les signaux x et y étant convertis sous forme numérique avant d'être appliqués au circuit 19 et les signaux x_s et y_s étant convertis sous forme analogique avant d'être appliqués au circuit de commande 13. Quant à l'inversion du signe des signaux à réinjecter et à sommer aux signaux x et y elle pourra être réalisée par inversion des signaux à tout niveau du circuit de contre-réaction 19.

f_1 désignant la fréquence du signal x_s et f la vitesse du rotor en tours par seconde, la fonction de transfert T du circuit de contre-réaction 19 varie comme illustré par la figure 6 en représentation asymptotique, Δf représentant la bande passante des intégrateurs IX et IY et K le gain de ces intégrateurs. On a en effet

$$T = \frac{K}{1 + \frac{p}{\Delta \omega}}$$

avec $p = j[\omega_1 - \omega] = 2\pi j[f_1 - f]$ et $\Delta \omega = 2\pi \Delta f$

Les signaux x_1 et y_1 étant réinjectés avec un signe opposé à celui des signaux x_s et y_s , la fonction de transfert G de l'ensemble du circuit 18 s'exprime par

$$G = \frac{1}{1 + T}$$

et est illustrée en représentation asymptotique par la figure 7. Le circuit 18 constitue donc pour les signaux x et y un filtre coupe-bande dans une étroite bande de fréquence centrée sur une fréquence en permanence égale à la vitesse de rotation du rotor. Tel que représenté par la figure 7, le gain est divisé par un facteur $K + 1$ dans une bande de fréquence dont la largeur diminue, avec le gain, d'une valeur égale à $2(K + 1)\Delta f$ jusqu'à une valeur $2\Delta f$.

La raideur C du palier est représentée à la figure 8. La présence du circuit 18 provoque une brusque chute de la raideur dans une bande de fréquence centrée sur la fréquence f . Pour toute perturbation synchrone, c'est-à-dire de fréquence égale à la vitesse de rotation, la raideur du palier est éliminée et le rotor tourne librement autour de son axe d'inertie. Comme déjà mentionné, le balourd associé au rotor est généralement constant ou lentement variable et l'on pourra limiter la bande passante des intégrateurs aux très basses fréquences, par exemple inférieures à 1 Hz et même à 0,1 Hz afin de supprimer la raideur du palier sensiblement exclusivement pour les perturbations synchrones.

D'après la courbe en représentation asymptotique de la figure 8, on constate que la raideur C est, pour la fréquence f , divisée sensiblement par $K + 1$. Avantagusement, on prévoit des amplificateurs IX et IY à gain variable afin de pouvoir ajuster la valeur K . Par ailleurs, afin d'éviter que la raideur du palier soit nulle lors du démarrage du rotor, on prévoit

des moyens interrupteurs permettant de rendre actif le circuit de contre-réaction 18 après le lancement du rotor. Ces moyens interrupteurs peuvent constituer en un commutateur disposé en série dans le circuit 18. On pourra également, avant le lancement du rotor maintenir le gain K des amplificateurs à une valeur nulle au moyen d'un élément de réglage de ce gain.

Le dispositif ci-avant décrit convient pour éliminer toutes perturbations parasites synchrones, notamment celles dues à l'existence d'un balourd.

Or, comme déjà indiqué, d'autres types de perturbations parasites liées à la vitesse de rotation du rotor peuvent exister. Ces perturbations dues par exemple à des défauts de symétrie des détecteurs de position ou à des défauts de construction du moteur d'entraînement du rotor, par exemple une forme elliptique du stator ou du rotor de ce moteur, donnent naissance à des signaux d'erreurs parasites cycliques émis par les détecteurs.

De telles perturbations parasites sont décomposables en harmoniques de la fréquence de base égale à la vitesse de rotation du moteur. Si les harmoniques pairs sont éliminés de par la disposition des détecteurs par paires de détecteurs diamétralement opposés, par contre les harmoniques impairs se traduisent par l'émission de signaux d'erreurs parasites à une fréquence multiple impaire de la fréquence de base.

Le dispositif conforme à l'invention permet une compensation de ces signaux parasites au moyen d'un circuit tel que celui représenté à la figure 4, en fournissant aux résolveurs R1 et R2 un signal représentatif de $n\omega t$, n étant l'ordre d'harmonique de la fréquence de base pour lequel on souhaite un filtrage des signaux des détecteurs. Ce signal représentatif de $n\omega t$ pourra être simplement obtenu par multiplications du signal délivré par le convertisseur 20. Le résolveur R1 effectue alors une transformation de coordonnées du repère fixe (x'x, y'y) dans un repère tournant par rapport à ce repère fixe avec une vitesse angulaire $n\omega$ tandis que le résolveur R2 effectue la transformation inverse.

Diverses modifications et adjonctions pourront être apportées au mode de réalisation ci-avant décrit du dispositif conforme à l'invention sans pour cela sortir du cadre de protection défini par les revendications annexées. En particulier, on pourra utiliser plusieurs circuits de traitement tels que 18 chacun associé à une fréquence particulière. On notera enfin, que le dispositif conforme à l'invention, s'il a été décrit pour un seul système de détection radial, est bien entendu associé à chaque système de détection radial prévu dans le dispositif de suspension du rotor.

2336602

9

R E V E N D I C A T I O N S

1. Dispositif de compensation des perturbations syn-
chrones dans une suspension magnétique d'un rotor comportant au
5 moins un palier magnétique radial muni d'enroulements d'électro-
aimants, au moins un dispositif de détection radial de la posi-
tion axiale du rotor, et un circuit d'asservissement relié au
dispositif de détection et auxdits enroulements et comprenant
un circuit de commande d'alimentation de ces enroulements agis-
10 sant en réponse à des signaux délivrés par le dispositif de dé-
tection pour maintenir le rotor dans une position axiale pré-
déterminée, caractérisé en ce que le circuit d'asservissement
comporte des moyens de filtrage des signaux délivrés par le dis-
positif de détection, insérés entre ce dernier et le circuit de
15 commande, et constituant au moins un filtre coupe-bande centré
sur une fréquence fonction directe de la vitesse de rotation
du rotor.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé
en ce que des moyens sont prévus pour asservir la fréquence
20 centrale du filtre coupe-bande à la vitesse de rotation du rotor.

3. Dispositif selon la revendication 2, comportant des
premiers et des seconds moyens reliés au dispositif de détection
et susceptibles de délivrer respectivement un premier et un se-
cond signal, dits d'entrée, représentatifs de la position radiale
25 du rotor respectivement suivant un premier et un second axe de
référence fixes, perpendiculaires entre eux et à l'axe de rota-
tion prédéterminé du rotor, le circuit de commande comportant
une première et une seconde entrée reliées respectivement aux-
dits premiers et seconds moyens, caractérisé en ce que les moyens
30 de filtrage comportent un premier et un second additionneur à
deux entrées ayant leurs premières entrées reliées auxdits pre-
miers et seconds moyens pour recevoir respectivement le premier
et le second signal d'entrée, et ayant leurs sorties reliées
respectivement à la première et à la seconde entrée du circuit
35 de commande et délivrant un premier et un second signal de sor-
tie, et un circuit de contre-réaction branché entre les sorties
des additionneurs et leurs deuxièmes entrées ; ce circuit de
contre-réaction comportant un premier circuit de transformation

du type susceptible d'effectuer une transformation de coordonnées du repère fixe constitué par lesdits axes fixes dans un repère mobile qui est constitué par deux axes mobiles perpendiculaires entre eux et à l'axe de rotation du rotor, et qui tourne par rapport au repère fixe à une vitesse égale à ladite fréquence centrale du filtre coupe-bande, ce premier circuit de transformation ayant deux entrées reliées aux sorties desdits additionneurs pour recevoir ledit premier et ledit second signal de sortie et les transformer en un troisième et un quatrième signal, un premier intégrateur relié au premier circuit de transformation pour recevoir ledit troisième signal à l'entrée et l'intégrer, un second intégrateur relié au premier circuit de transformation pour recevoir ledit quatrième signal et l'intégrer, un second circuit de transformation du type susceptible d'effectuer une transformation de coordonnées dudit repère mobile dans ledit repère fixe, ce second circuit de transformation ayant deux entrées reliées respectivement au premier et au second intégrateur pour transformer les signaux délivrés par ces intégrateurs en un cinquième et un sixième signal, les secondes entrées du premier et du second additionneur étant reliées audit second circuit de transformation pour recevoir respectivement ledit cinquième et ledit sixième signal.

4. Dispositif, selon la revendication 3, caractérisé en ce qu'il comporte un circuit convertisseur tachymétrique susceptible de délivrer un signal représentatif de la vitesse de rotation du rotor et relié audit premier et audit second circuit de transformation.

5. Dispositif selon la revendication 3, caractérisé en ce que chacun desdits intégrateurs a une bande passante étroite limitée aux basses fréquences inférieures à 1 Hz.

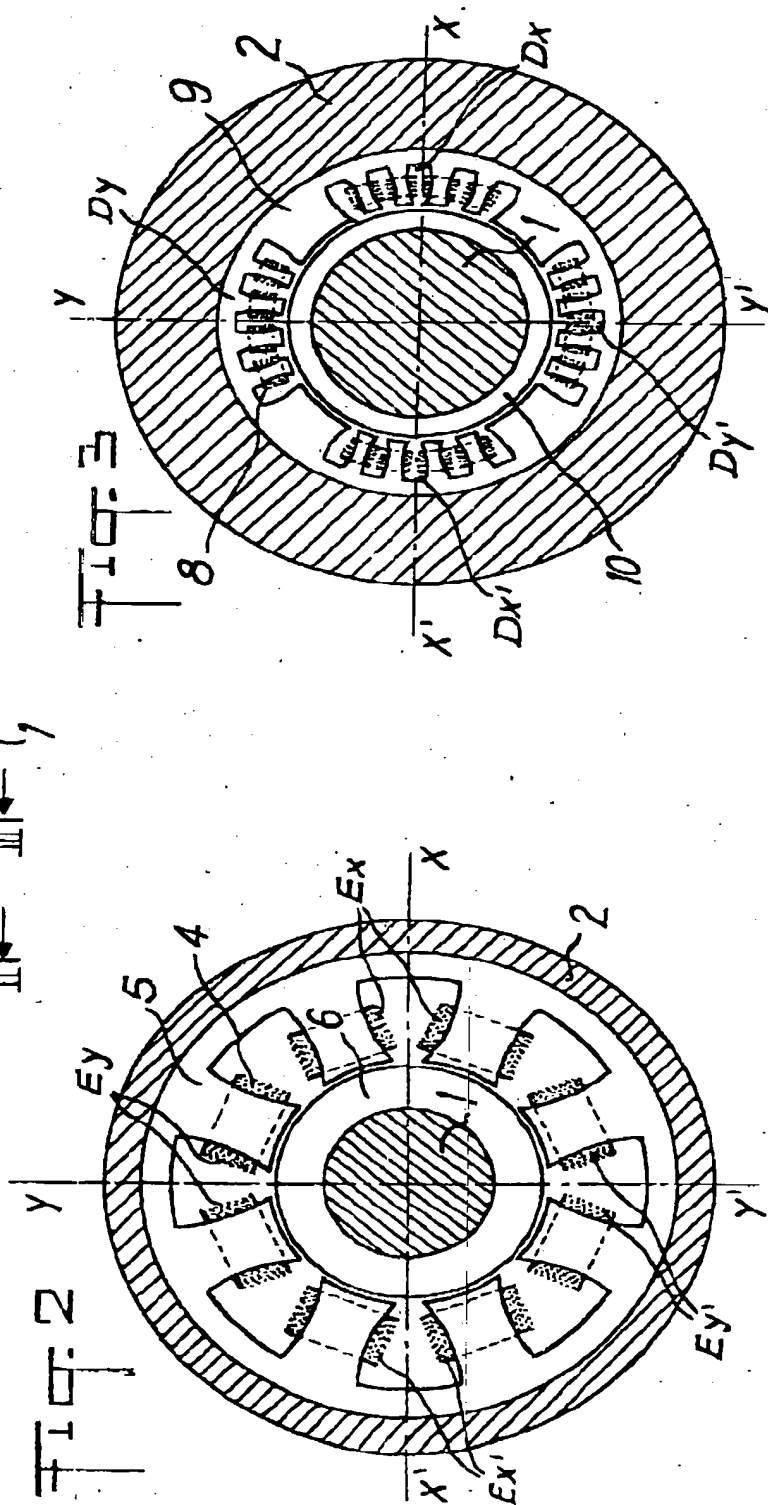
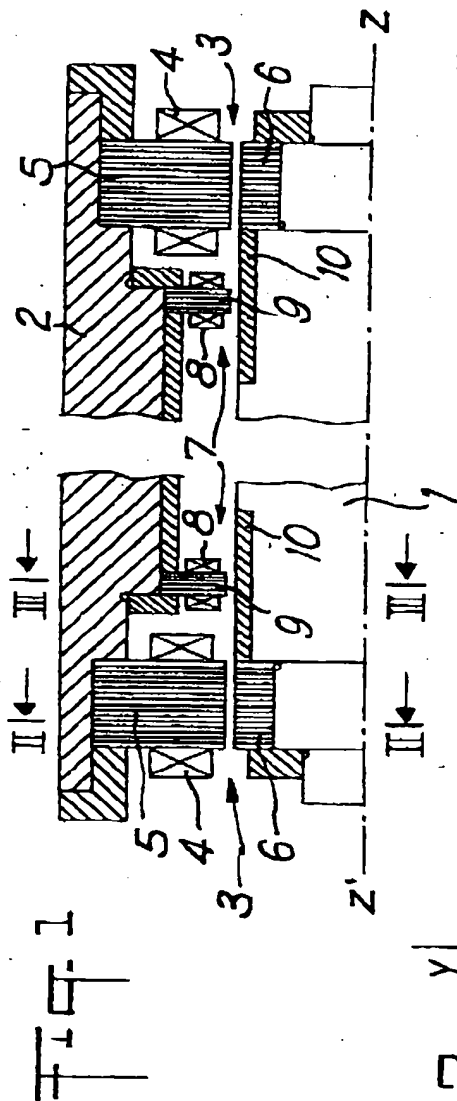
6. Dispositif selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisé en ce que ladite fréquence centrale du filtre coupe-bande est égale à la vitesse de rotation du rotor.

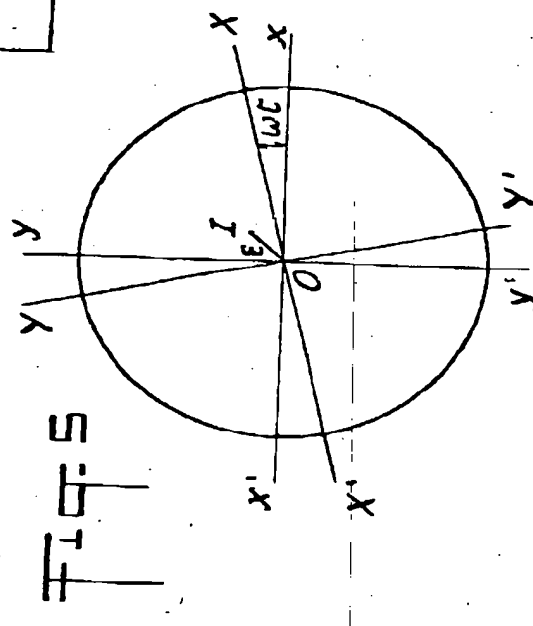
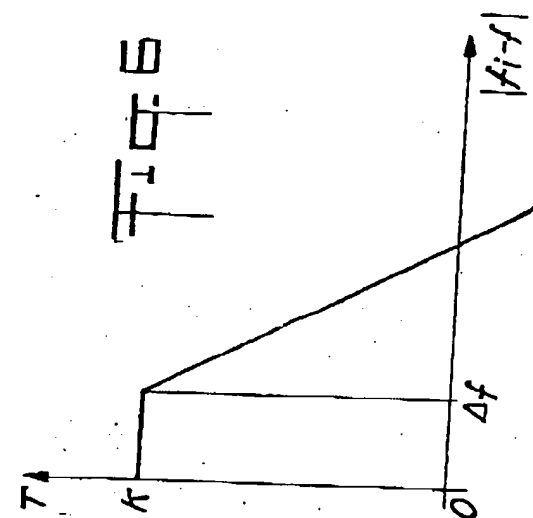
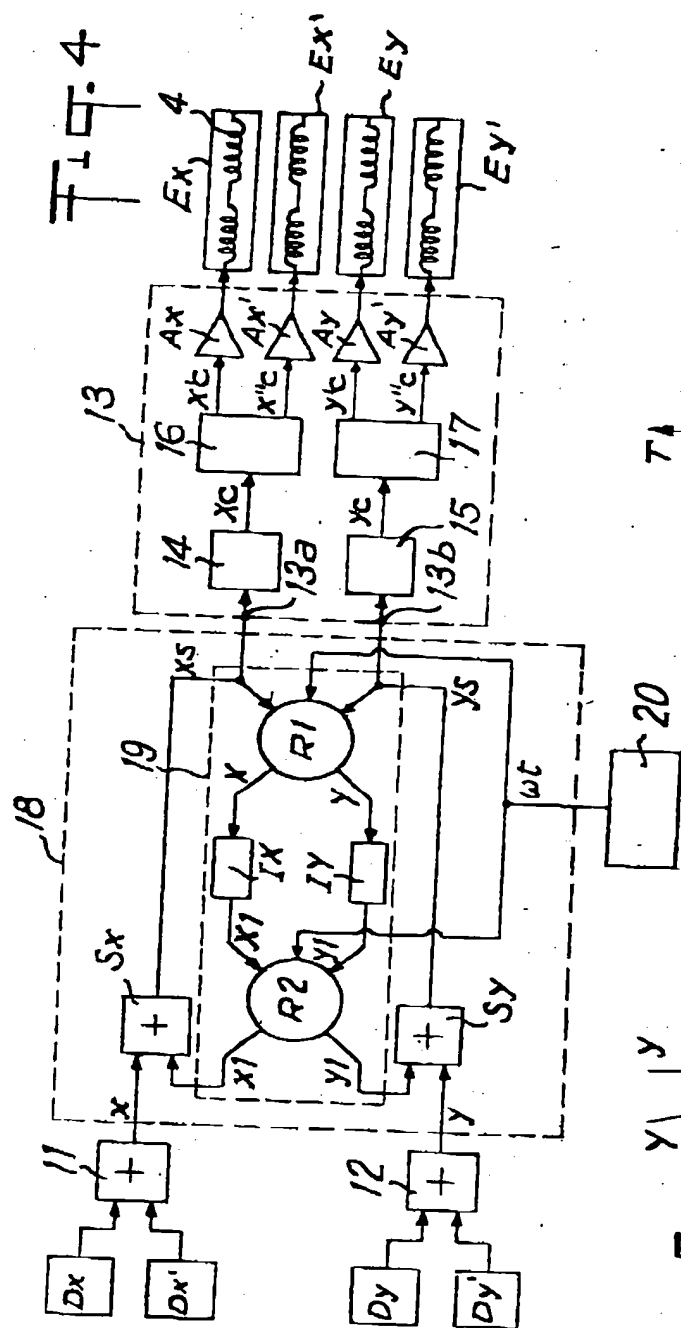
7. Dispositif selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que ladite fréquence centrale du filtre coupe-bande est égale à un multiple de la vitesse de rotation du rotor.

Paris, le 11/10/76

PL. 1/3

2336602





PL. 3/3

2336602

FIG. 7

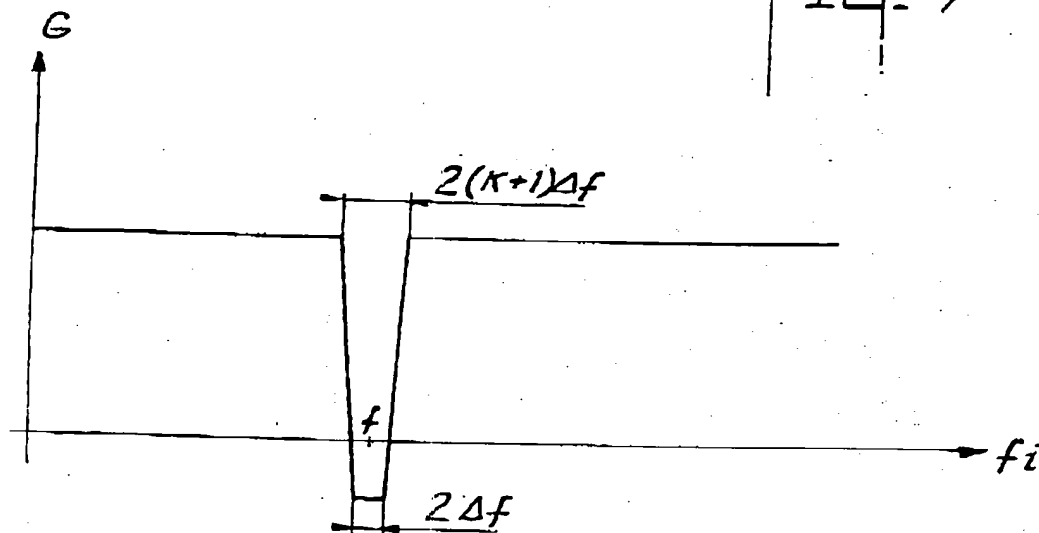


FIG. 8

